

UNIVERSITÉ DE NANCY - FACULTÉ DES SCIENCES

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE NANCY

POUR OBTENIR

le Grade de Docteur de l'Université de Nancy

MENTION SCIENCES

PAR

M^{me} I. MIHUL

1^{re} THÈSE : Etude sur la perméabilité magnétique du fer.

2^e THÈSE : Proposition donnée par la Faculté.

Soutenues le novembre 1927 devant la Commission d'examen



Président MM. GUTTON.

Examineurs . . . } CROZE.
GRUMBACH.



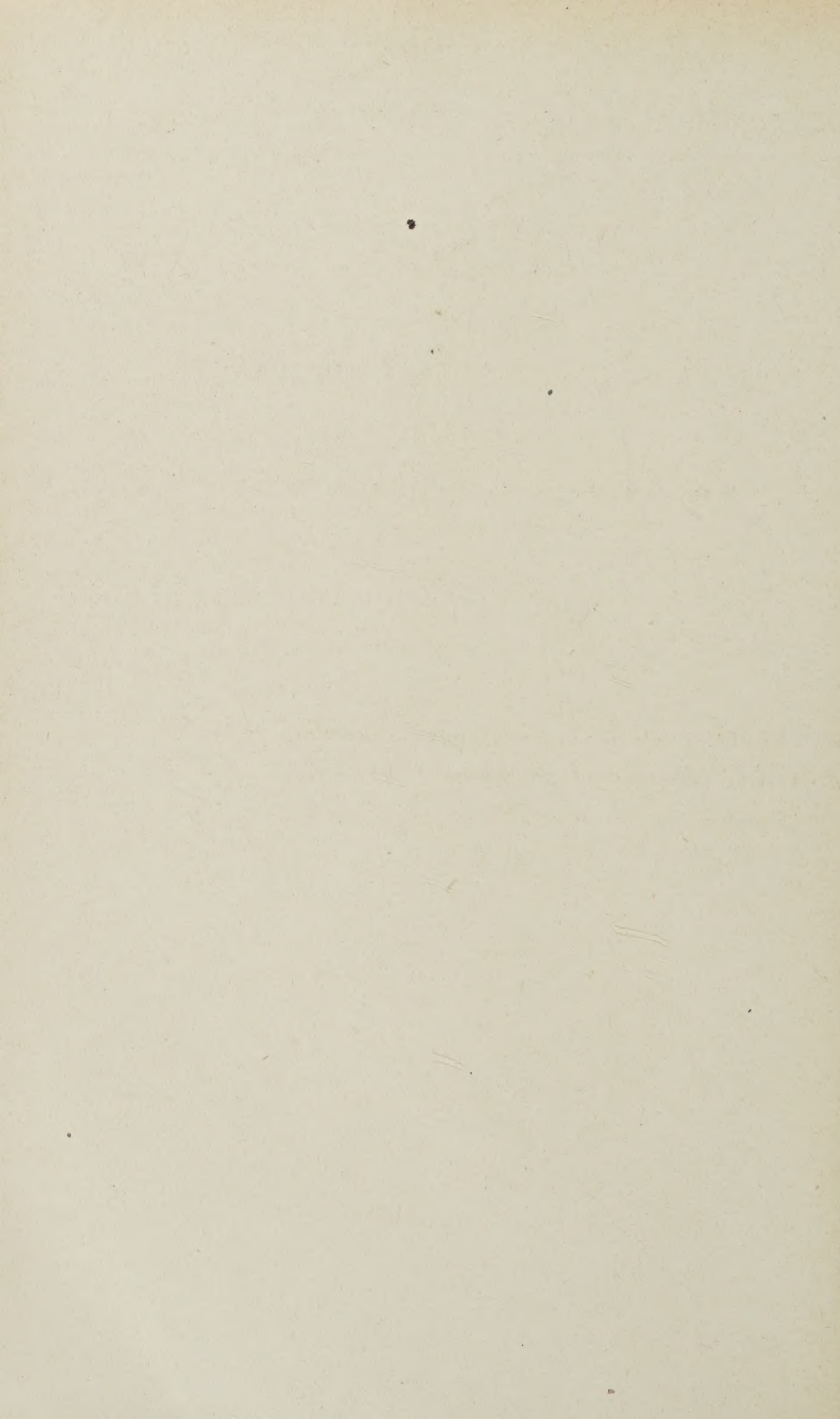
NANCY

SOCIÉTÉ D'IMPRESSIONS TYPOGRAPHIQUES

1927



Digitized by the Internet Archive
in 2026



UNIVERSITÉ DE NANCY - FACULTÉ DES SCIENCES

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE NANCY

POUR OBTENIR

le Grade de Docteur de l'Université de Nancy

MENTION SCIENCES

PAR

M^{me} I. MIHUL

1^{re} THÈSE : Etude sur la perméabilité magnétique du fer.

2^e THÈSE : Proposition donnée par la Faculté.

Soutenues le novembre 1927 devant la Commission d'examen

Président	MM. GUTTON.
Examineurs . . . }	CROZE.
	GRUMBACH.

|o|

NANCY

SOCIÉTÉ D'IMPRESSIONS TYPOGRAPHIQUES

1927

Université de Nancy - Faculté des Sciences

Doyen: M. PETIT

Assesseur: M. GAIN

Professeurs honoraires: MM. BLONDLOT, CARTAN, BLAISE, LE MONNIER, THOULET, MULLER, GUYOT.

Maître de conférences honoraire: M. FERRÉ

Chargé de cours honoraire: M. MILLOT

Professeurs:

MM. PETIT	Chimie agricole.
GUNTZ	Chimie minérale.
CUÉNOT	Zoologie.
GUTTON	Physique.
MAUDUIT	Electrotechnique.
GAIN	Botanique.
HUSSON	Mécanique rationnelle.
VAVON	Chimie organique.
LEAU	Calcul différentiel et intégral.
BOURION	Chimie physique et Electro chimie.
TRAVERS	Chimie industrielle.
DARMOIS (G.).....	Analyse supérieure.
FALLOT	Géologie.
CORNUBERT	Chimie.
LONGCHAMBON ..	Minéralogie.
COURTOT	Chimie appliquée à la teinture.
CROZE	Physique.
BOUIN	Zoologie appliquée.
GRUMBACH	Physique.
MENTRÉ	Mécanique appliquée (en mission).
JOLY	Géologie de Lorraine.

Maîtres de Conférences:

M. RAYBAUD	Botanique.
DE MALLEMANN..	Physique.

Secrétaire: M. BERTRAND



A LA MÉMOIRE DE MES PARENTS



A M. LE PROFESSEUR C. GUTTON

Hommage reconnaissant.

AVANT-PROPOS

Ce travail, suggéré par M. Gutton, a été exécuté dans son laboratoire à l'Institut de Physique de la Faculté des Sciences de Nancy. Qu'il veuille bien nous permettre de lui exprimer ici notre plus vive gratitude pour les précieux conseils et l'aide bienveillante qu'il nous a prodigués pendant ce travail.

Nous demeurerons profondément reconnaissante à M. P. Bogdan professeur à la Faculté des Sciences de Jassy, membre de l'Académie roumaine, et à M. P. Petit, Doyen de la Faculté des Sciences de Nancy, pour l'intérêt qu'ils nous ont toujours porté.

Il nous est très agréable d'adresser nos remerciements à MM. Châtelain et Pierret, préparateurs à la Faculté des Sciences pour leur aimable concours particulièrement en ce qui concerne la correction du présent travail.

d'équilibre par des forces quasi-élastiques. Si ces particules sont dérangées de leur position d'équilibre, elles y reviennent par des oscillations amorties. Il peut alors se produire des phénomènes de résonance entre l'oscillation propre des particules et les oscillations du champ magnétisant. Pour cette période de résonance, on constaterait la brusque variation de perméabilité que M. ARKADIEW a observée.

Depuis, les élèves de M. ARKADIEW (1) ont étendu ses mesures à un domaine de fréquences plus étendu et ont expérimenté avec des oscillations de longueur d'onde comprise entre 1 et 1.000 mètres. Les résultats sont alors devenus plus compliqués. La perméabilité varie très irrégulièrement avec la fréquence. M. ARKADIEW l'explique en admettant l'existence de plusieurs espèces de particules dont les périodes de résonance correspondent à une série de bandes d'absorption.

L'hypothèse de liaisons quasi-élastiques suppose une déformation proportionnelle à la force et par suite un coefficient d'aimantation constant, ce qui est le cas des substances paramagnétiques. Pour les substances ferro-magnétiques, les particules resteraient invariablement fixées en position et en orientation, jusqu'à ce qu'un champ magnétique assez intense les déplace par un saut brusque, et ce seraient ces sauts brusques que l'on observe en répétant les expériences de M. BARCKHAUSEN (2).

Malheureusement, les expériences relatives à la spectroscopie magnétique de M. ARKADIEW ont donné, lorsque elles se sont multipliées, des résultats souvent contradictoires.

-
- (1) WVEDENSKY et THEODORTSCHIK, *An. der Phys.*, 68, 1922.
NIKITIN, *Zeit. f. Phys.*, 29, 1924.
KARTSCHAGIN, *An. der Phys.*, 67, 1922.
(2) BARCKHAUSEN, *Phys. Zeit.*, 1919, p. 401.

M. ARKADIEW l'explique en admettant que les substances ferro-magnétiques seraient composées d'un mélange de diverses espèces de particules dont les proportions varieraient d'un échantillon à un autre et pourraient même être différentes dans deux parties d'un même échantillon. Il conseille donc d'employer, lors de l'étude des variations de perméabilité avec la fréquence, des échantillons aussi peu volumineux que possible.

Cette dernière hypothèse ne paraît cependant pas se vérifier, car M. KARTSCHAGIN, pour des oscillations dont la fréquence est de l'ordre de celle qui correspond à 15 mètres de longueur d'onde, obtient de très grandes variations de perméabilité avec la fréquence, tandis que M. NIKITIN n'observe que de très petites variations, qui semblent même être seulement de l'ordre des écarts expérimentaux. Or, M. KARTSCHAGIN opère sur de longues lignes en fil de fer, tandis que M. NIKITIN se sert de très courts morceaux de fil et devrait, par suite, observer la dispersion magnétique avec plus de netteté.

D'autre part M. LAVILLE (1), en étudiant avec beaucoup de soin la propagation des ondes électromagnétiques le long de lignes en fil de fer, obtient, pour six valeurs très différentes de la longueur d'onde, des perméabilités égales.

De l'analyse du mémoire de M. KARTSCHAGIN, il paraît résulter que toutes les précautions nécessaires n'ont pas été prises.

Enfin, récemment, M. WAIT (1) ayant repris des expériences très analogues à celles de MM. WWEDENSKY et THEODORSCHICK, qui trouvent des variations de perméabilité, conclut à la non existence de variations irrégulières de la perméabilité

(1) LAVILLE, *Ann. de Phys.*, 10^e série, 2, 1924, p. 328.

(1) G. R. WAIT, *Phys. Rev.*, 29, p. 566, 1927.

correspondant à des bandes d'absorption du spectre magnétique.

C'est pour toutes ces raisons que nous avons entrepris d'étudier la perméabilité du fer aux fréquences élevées. Afin d'éviter les complications qu'entraîne la mesure de l'amortissement lors de la propagation le long d'une ligne et pour utiliser un échantillon de fer de petit volume, condition qui est celle que recommande M. ARKADIEW, nous avons déterminé la perméabilité par des mesures d'amortissement d'un résonateur Blondlot, satisfaisant aux conditions de la formule de THOMSON et sur le circuit duquel nous pouvions substituer, à un fil de cuivre, un fil de fer de mêmes dimensions. Nos mesures n'ont pas décelé de variations de perméabilité supérieures à celles qui peuvent provenir des erreurs d'expérience. Elles ont été faites entre les fréquences qui correspondent à 8 et à 25 mètres de longueur d'onde.

Dans l'hypothèse de liaisons élastiques entre les particules d'un milieu ferro-magnétique, la perméabilité en haute fréquence ne varierait pas avec l'intensité du champ et c'est la conclusion à laquelle arrive M. ARKADIEW à la suite des expériences faites avec des oscillations de fréquence supérieure à 10^8 . Pour des oscillations, il est vrai moins fréquentes, de l'ordre de 10^7 , nous avons fait des mesures de perméabilité pour diverses intensités du champ. Nous avons trouvé une perméabilité croissant avec l'intensité du champ, comme il arrive dans les champs constants de faible intensité.

MÉTHODE DE MESURE DE LA PERMÉABILITÉ EN HAUTE FRÉQUENCE

La perméabilité magnétique d'un fil de fer en courant alternatif a été déduite de la mesure de résistance et de la formule, relative à l'effet pelliculaire, qui exprime cette résistance en fonction de la perméabilité et de la conductivité.

Un résonateur est constitué par une capacité C et un rectangle en fil de cuivre dont le coefficient de self-induction, pour une distribution superficielle du courant, est L. Soit R la résistance apparente en haute fréquence du résonateur. Couplons ce résonateur avec un oscillateur à lampe triode, fonctionnant à l'intensité maximum constante I, dont on peut faire varier la pulsation Ω . Si M est le coefficient d'induction mutuelle de l'oscillateur et du résonateur, une force électromotrice pendulaire de la forme

$$e = MI\Omega \sin \Omega t$$

est induite le long de ce dernier.

L'équation différentielle qui définit la différence de potentiel entre les armatures du condensateur est

$$\frac{d^2v}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dv}{dt} + \frac{v}{CL} = \frac{I}{CL} MI\Omega \sin \Omega t.$$

La solution comprend une oscillation libre amortie qui disparaît peu après que le courant est établi et une oscillation forcée de la forme

$$v = V \sin (\Omega t - \varphi)$$

avec les conditions

$$V = \frac{M \Omega^2 \omega^2}{\sqrt{4 \alpha^2 \Omega^2 + (\omega^2 - \Omega^2)^2}}$$

et

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{2 \alpha \Omega}{\omega^2 - \Omega^2}$$

$\omega = \frac{1}{CL}$ est la pulsation sans amortissement des oscillations libres du résonateur et $\alpha = \frac{R}{2L}$ son amortissement. Lorsque le résonateur est accordé, $\Omega^2 = \omega^2$ et l'amplitude de la différence de potentiel V a la valeur

$$V_0 = \frac{M \omega^2 I}{2 \alpha}$$

Pour trouver l'amortissement α nous modifions la pulsation de l'oscillateur et cherchons les pulsations Ω_1 et Ω_2 pour lesquelles la différence de potentiel V prend la valeur $\frac{V_0}{2}$

Ces pulsations sont données par l'expression

$$\Omega^2 = \omega^2 + 6 \alpha^2 \pm \alpha \sqrt{36 \alpha^2 + 12 \omega^2}$$

La différence de leurs carrés est

$$\Omega_1^2 - \Omega_2^2 = B = 2 \alpha \sqrt{36 \alpha^2 + 12 \omega^2};$$

relation d'où l'on tire

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{6}} \sqrt{\omega^2 \pm \sqrt{\omega^4 + \frac{B^2}{4}}}$$

B reste toujours très petit vis-à-vis de ω^2 pour des amortis-

sements aussi faibles que de tous les résonateurs qui nous ont servi. En développant donc en série, la valeur de α

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{6}} \left(\frac{B}{2\sqrt{2}\omega} - \frac{B^3}{8^2\sqrt{2}\omega^3} + \dots \right)$$

et en ne conservant que le premier terme, il vient

$$\alpha = \frac{\Omega_1 - \Omega_2}{2\sqrt{3}} \frac{\Omega_1 + \Omega_2}{2\omega}$$

ou puisque Ω_1 et Ω_2 diffèrent très peu de ω

$$\alpha = \frac{\Omega_1 - \Omega_2}{2\sqrt{3}} = \frac{\pi}{\sqrt{3}} (n_1 - n_2)$$

où n_1 et n_2 désignent les fréquences correspondant à Ω_1 et Ω_2 .

En déterminant ces fréquences et en multipliant la valeur de α par $2L$ on obtient la résistance R . Cette résistance est beaucoup plus grande que la résistance ohmique des fils constituant le résonateur, car à l'amortissement que produirait cette dernière s'ajoute celui qui est dû au rayonnement, à la dissipation d'énergie dans les lames et le diélectrique du condensateur et dans tous les conducteurs situés au voisinage du résonateur.

Ayant observé les différences de potentiel V entre les armatures du condensateur avec un électromètre et ayant mesuré n_1 et n_2 , nous obtenons par la formule précédente la résistance apparente totale du résonateur. Nous remplaçons alors quelques centimètres du fil de cuivre du résonateur par un fil de fer et déterminons à nouveau la résistance totale. L'augmentation de résistance est la différence entre la résistance en haute fréquence du fil de fer et celle du fil de cuivre auquel il a été substitué.

La résistance du fil de cuivre, non magnétique, se déduit des formules relatives à la localisation superficielle du courant, on obtient donc la résistance du fil de fer. Pour des fréquences aussi élevées que celles pour lesquelles nous avons fait des mesures, la formule de STEFAN (1)

$$r = R_0 \left[a\pi \sqrt{\mu cn} + \frac{1}{4} \right]$$

où R_0 est la résistance du fil en courant continu, a le rayon du fil, c la conductibilité du fil et n la fréquence, est suffisante; r et R_0 sont les résistances de l'unité de longueur du fil.

Lors des premiers essais, nous avons cherché à tracer la courbe de résonance complète du résonateur. Avec une hétérodyne nous produisions des oscillations de fréquence assez voisines de la fréquence des oscillations de l'oscillateur inducteur pour avoir dans un circuit oscillant des battements de fréquence audible. Après détection et amplification, un téléphone faisait entendre le son correspondant, et nous comparions ce son à celui d'un diapason. Laissant la fréquence de l'hétérodyne constante, le son de battements nous donnait la différence entre cette fréquence fixe et celle de l'oscillateur.

Nous mesurions d'autre part, à l'électromètre, la différence de potentiel entre les armatures du résonateur et avions ainsi les abscisses et les ordonnées successives de la courbe de résonance.

Nous avons reconnu que cette méthode, qui exigeait un nombre considérable de mesures, n'était pas assez rapide. Durant le tracé de la courbe de résonance, les conditions extérieures, la température par exemple, pouvait changer, la fré-

(1) BOUASSE, Ondes hertziennes, 1925, p. 120.

quence de l'hétérodyne pouvait varier, et de ce fait les mesures étaient difficilement précises. Nous nous sommes rendu compte en effet qu'en abandonnant quelque temps l'appareil à lui-même le son perçu changeait peu à peu de hauteur. Ce changement pouvait provoquer des erreurs très supérieures à celles qui pouvaient provenir de l'inexactitude de l'accord du son avec un diapason et de la lecture des déviations de l'électromètre.

C'est pour effectuer les mesures dans un temps beaucoup plus court que nous avons renoncé tant au tracé complet de la courbe de résonance qu'à la mesure des fréquences par la méthode des battements. Nous déterminons la déviation de l'électromètre à la résonance; elle mesure le carré de la différence de potentiel efficace entre les armatures du résonateur, nous désaccordons ensuite l'oscillateur de façon à réduire à moitié cette différence de potentiel. Nous mesurons alors la longueur d'onde et la fréquence correspondante avec une ligne sur laquelle nous déplaçons un pont. Les mesures sont faites pour la fréquence supérieure et pour la fréquence inférieure à la fréquence de résonance.

Les appareils utilisés étaient ainsi: 1° un oscillateur à lampes, dont on pouvait faire légèrement varier la fréquence sans changement sensible d'amplitude; 2° un résonateur Blondlot, aux armatures duquel était relié un électromètre idiostatique; 3° une ligne de deux fils de cuivre parallèles, sur laquelle on pouvait faire glisser un pont mobile et dont les fils, à leur origine, étaient reliés par une soudure thermoélectrique réunie à un galvanomètre. L'observation des déviations de celui-ci permettait de déterminer les positions du pont, distantes d'une demi-longueur d'onde, pour lesquelles la ligne était accordée sur l'oscillateur.

DESCRIPTION DES APPAREILS

Résonateur. — Nous avons employé des résonateurs Blondlot, de forme rectangulaire, en fil de cuivre de 2 m/m 5 de diamètre. Au milieu de l'un des grands côtés, le rectangle est coupé et les deux côtés de la coupure sont soudés à deux plaques carrées en laiton de 1 m/m 5 d'épaisseur, formant les armatures du condensateur. Les plaques, séparées par de petites cales en mica, étaient serrées entre les deux branches de pièces d'ébonite en forme de U; on assurait le serrage par l'introduction de petits coins en bois entre l'ébonite et les plaques.

Deux fils en cuivre très courts étaient soudés aux armatures du condensateur et servaient à les relier aux deux plateaux d'un électromètre idiostatique. La longueur des fils était très petite vis-à-vis de la longueur d'onde, de telle sorte, la différence de potentiel entre les armatures pouvait être considérée comme à chaque instant égale à la différence de potentiel entre les plateaux de l'électromètre.

Au milieu du côté du rectangle opposé au condensateur, sur 7 c/m de longueur, le fil de cuivre avait un diamètre égal à celui du fil de fer en expérience. On pouvait substituer ces deux fils l'un à l'autre. Les jonctions étaient faites par soudure à l'étain.

Nous avons employé trois résonateurs ayant les dimensions suivantes :

- I plaques carrées de 7 cm. 5 de côté; rectangle de 20,6 × 15 cm.
- II plaques carrées de 5 cm. de côté; rectangle de 20,4 × 10 cm.
- III plaques carrées de 5 cm. de côté; rectangle de 10, × 10 cm.

Le coefficient de selfinduction du résonateur était calculé par la formule indiquée par M. BLONDLOT (1) :

$$L = 4 \left[2 (m - a - b) + a \lg_n \frac{2ab}{\rho (a + m)} + b \lg_n \frac{2ab}{\rho (b + m)} \right]$$

a et b sont les côtés du résonateur, m est sa diagonale, ρ le rayon du fil. Dans la partie du rectangle comprenant le morceau du fil de cuivre auquel devait être substitué le fil de fer, le rayon du fil était différent, nous en avons tenu compte en ajoutant à la valeur calculée la différence $2 d \lg_n \rho_1 / \rho$ entre la selfinduction d'un fil de longueur d et le rayon ρ_1 et celle d'un fil de même longueur de rayon ρ .

Oscillateur. — L'oscillateur comprend deux lampes triodes montées en parallèle. La self du circuit oscillant est intercalée entre les plaques et les grilles. Aux capacités propres des lampes est ajoutée la capacité d'un condensateur dont les armatures sont réunies aux plaques et aux grilles. La charge des plaques est assurée, à travers une grande self, par une batterie d'accumulateurs de 120 éléments. Le courant de chauffage des filaments est fourni par une batterie d'accumulateurs de grande capacité, afin d'obtenir une intensité du courant bien constante. Pour éviter l'influence des courants d'air, les lampes sont enfermées dans une boîte en carton.

Les variatiois de la longueur d'onde sont obtenues en modifiant la capacité du condensateur. Afin d'éviter que le changement de position de ses armatures ne fasse varier l'induction mutuelle entre les circuits de l'oscillateur et du résonateur, nous avons employé un condensateur variable dont la lame

(1) BLONDLOT, Journal de Physique, 4, p. 135, 1895.

diélectrique est seule mobile. Il est constitué par deux lames de verre recouvertes de papier d'étain, séparées par des cales en verre. On modifie la capacité en glissant une troisième lame en verre entre les armatures. Cette dernière lame est fixée à une longue baguette en verre, ce qui permet de la déplacer sans approcher la main de l'oscillateur.

Un ampèremètre thermique est intercalé dans le circuit oscillant et permet de vérifier la constance de l'amplitude des oscillations. On observe son aiguille avec une lunette.

Electromètre. — Un électromètre idiostatique, du modèle décrit par MM. GUTTON et LAVILLE (1), sert à mesurer la différence de potentiel efficace entre les armatures du condensateur du résonateur. L'aiguille, en aluminium battu, est suspendue entre deux plateaux de cuivre de 2 c/m^2 de surface par un fil de quartz. On modifie la sensibilité en changeant la distance entre les plateaux et l'aiguille. L'appareil est enfermé dans un cylindre de laiton.

L'électromètre est gradué en courant alternatif à 50 périodes avec un potentiomètre formé de deux boîtes de résistance Carpentier.

La capacité de l'électromètre, qui s'ajoute à celle du résonateur, est très petite vis-à-vis de cette dernière. Nous nous sommes assuré que des mesures faites avec deux résonateurs de même longueur d'onde, mais de capacités différentes, donnaient les mêmes valeurs de la perméabilité.

Ligne. — La ligne qui nous a servi à mesurer les longueurs d'onde a 16 mètres de longueur. Elle est constituée par deux

(1) C. GUTTON et G. LAVILLE, Annales des P. T. T., T. XIV, p. 209, 1925.

fil de cuivre de 0 m/m 9 de diamètre tendus parallèlement. A son origine, les deux fils de ligne sont réunis par une soudure thermoélectrique enveloppée de coton et reliée à un galvanomètre Thomson. Un pont mobile, constitué par une plaque en cuivre large de 12 c/m et haute de 8 c/m, percée de deux trous de même diamètre que les fils, peut être déplacé le long de la ligne. Ses déplacements sont obtenus par un système de ficelles et de poulies qui permet de le faire glisser sur la ligne tout en observant la règle graduée de galvanomètre.

EXPÉRIENCES

L'oscillateur étant très peu couplé avec le résonateur et avec la ligne, on règle la capacité du circuit de l'oscillateur de façon à obtenir la plus grande déviation de l'électromètre et par suite l'accord de l'oscillateur et du résonateur. On détermine alors, par l'observation du galvanomètre de la soudure thermo-électrique, les positions de résonance du pont sur ligne. On obtient ainsi la longueur d'onde λ_0 du résonateur. L'électromètre donne la différence de potentiel entre les armatures du résonateur accordé.

On modifie ensuite la capacité de l'oscillateur jusqu'à ce que l'électromètre indique une différence de potentiel deux fois plus petite que la précédente. Puis on déplace le pont et on amène de nouveau la ligne en résonance.

On fait cette détermination pour les deux fréquences, l'une supérieure, l'autre inférieure à la fréquence propre du résonateur. La différence entre les deux positions du pont mesure la différence $\Delta \lambda/2$ des deux demi-longueurs d'onde pour lesquelles l'amplitude des oscillations du résonateur est la moitié de l'amplitude de résonance. Cette mesure, destinée à déterminer l'amortissement du résonateur en cuivre, étant terminée, on soude sur le résonateur, au lieu du fil de cuivre, le fil de fer à étudier, sans faire aucun autre changement dans l'appareil. On mesure la nouvelle longueur d'onde λ_1 du résonateur. Elle est très voisine de la première car la selfinduction est peu modifiée. On détermine ensuite à nouveau la valeur $\Delta \lambda^2/2$, de

laquelle on peut déduire le nouvel amortissement du résonateur.

Nous donnons ci-dessous, à titre d'exemple, les résultats d'une expérience relative à un morceau de corde de piano de 7 c/m de longueur, de 0 m/m 85 de diamètre et à la longueur d'onde 896 c/m. Les mesures étaient faites avec le résonateur II. La selfinduction calculée du résonateur, entièrement en fil de cuivre, est

$$L = 492 \text{ u. e. m.}$$

La longueur d'onde correspondante est

$$\lambda = 893 \text{ cm.}$$

Pour déterminer $\Delta \lambda/2$ nous avons fait trois mesures pour lesquelles, à l'accord, les déviations de l'électromètre sur une échelle placée à distance de 1 m. 5 et les $\Delta \lambda$ correspondants étaient :

⑥ = 232 m/m	$\Delta \lambda = 2 \times 3 \text{ cm. } 40$
⑥ = 230 m/m	$\Delta \lambda = 2 \times 3 \text{ cm. } 45$
⑥ = 232 m/m	$\Delta \lambda = 2 \times 3 \text{ cm. } 55$

$\Delta \lambda$ moyen avait la valeur 6 c/m 9.

L'amortissement correspondant était

$$\alpha = 4,71 \cdot 10^5$$

et la résistance apparente du résonateur

$$R = 4,63 \cdot 10^3 \text{ u. e. m.}$$

En substituant au fil de cuivre le fil de fer de même longueur et de même diamètre, la longueur d'onde mesurée sur la ligne devient $\lambda'_0 = 896 \text{ c/m.}$

La capacité du résonateur n'étant pas changée, la nouvelle selfinduction était

$$L' = L \left(\frac{\lambda_0}{\lambda'_0} \right)^2$$

Les déviations θ' de l'électromètre et les $\Delta \lambda'$ correspondants étaient

$\theta' = 197$	$\Delta \lambda' = 2 \times 12 \text{ cm. } 15$
$\theta' = 195$	$\Delta \lambda' = 2 \times 11 \text{ cm. } 90$
$\theta' = 270$	$\Delta \lambda' = 2 \times 12 \text{ cm. } 15$
	$\Delta \lambda' = 24, \text{ cm } 1$
	moyen

L'amortissement du résonateur devenait

$$\alpha' = 16,33 \cdot 10^8$$

et sa résistance

$$R' = 16,18 \cdot 10^8 \text{ u. e. m.}$$

Pour trouver la résistance r du fil de fer, nous devons retrancher de la valeur R' , résistance apparente du résonateur avec le fil de fer, la résistance R du résonateur avec le fil de cuivre diminuée de la résistance r en haute fréquence du fil de cuivre. Cette dernière était calculée par la formule de STEFAN.

De la valeur de la résistance du fil de fer $r' = R' - (R - r)$ on déduit la valeur de la racine carrée de la perméabilité du fer à l'aide de la même formule de localisation superficielle du courant de STEFAN.

Les erreurs qui affectent les résultats sont dues aux erreurs faites dans les mesures de $\Delta \lambda$, λ , $\Delta \lambda'$ et dans le calcul de la self-induction L .

Les plus importantes sont celles de $\Delta \lambda$ et $\Delta \lambda'$ sur lesquelles interviennent les erreurs de lecture de l'ampèremètre et de l'électromètre. Comme les déviations de l'électromètre crois-

sent approximativement comme les carrés des différences de potentiel, la déviation correspondant aux différences de potentiel $V_0/2$ sont à peu près le quart de la déviation maximum dans l'exemple donné plus haut pour $\theta_{\text{mx}} = 232 \text{ m/m}$, θ correspondant à $V_0/2$ était de 50 m/m . Aux erreurs de lecture il faut ajouter les erreurs de la courbe d'étalonnage de l'électromètre.

Pendant l'exécution de ce travail, nous avons observé que les grandes variations de température provoquaient d'importantes variations de la longueur d'onde du résonateur. Par exemple le chauffage du laboratoire ayant été interrompu pendant trois jours, la longueur d'onde du résonateur s'est accrue de six centimètres pour $\lambda = 25$ mètres. Quand le chauffage a été repris, la longueur d'onde est revenue à sa valeur primitive. Pendant le temps qui sépare les déterminations de $\Delta\lambda$ la température pouvait varier un peu et $\Delta\lambda$ pouvait être ainsi affecté d'une petite erreur. Nous nous sommes efforcé de la diminuer en faisant les mesures aussi rapidement que possible et alternativement pour l'onde de longueur supérieure et pour l'onde de longueur inférieure à la résonance.

Enfin, la détermination des positions du pont sur la ligne introduit une nouvelle erreur possible.

De ce qui précède, il résulte que la résistance totale du résonateur s'exprime par la formule :

$$R = KL \frac{\Delta \lambda}{\lambda_0^2}$$

L'erreur relative sur R est

$$E_R = E_L + E_{\Delta\lambda} + 2 E_{\lambda_0}$$

ou E_L , $E_{\Delta\lambda}$, E_{λ_0} sont les erreurs relatives sur L , $\Delta\lambda$, et λ_0 .

La résistance du circuit avec le fil de fer est

$$R' = KL' \frac{\Delta\lambda'}{\lambda_0'^2} = KL \frac{\Delta\lambda'}{\lambda_0^2}$$

puisque l'on a

$$\frac{L'}{\lambda_0'^2} = \frac{L}{\lambda_0^2}$$

L'erreur sur R' est alors

$$E_{R'} = E_L + E\Delta\lambda' + 2E\lambda_0$$

L'erreur relative sur $r' = R' - R + r$ est.

$$E_{r'} = \frac{E_{R'}R' - E_R R}{R' - R} = \frac{E\Delta\lambda'R' + E\Delta\lambda R}{R' - R} + E_L + 2E\lambda_0$$

Les erreurs comprises dans le premier terme sont données par les variations des $\Delta\lambda$ et $\Delta\lambda'$. D'après nos évaluations elles sont plus petites que $\pm 3 \%$. Celles provenant du calcul de L et des mesures de λ_0 sont ensemble plus petites que 1% .

Nous pouvons donc admettre que nos résultats sont affectés d'erreurs plus petites que $\pm 4 \%$.

ECHANTILLONS DE FER ÉTUDIÉS

Nous avons étudié par cette méthode deux échantillons de corde à piano. L'un avait 1 m/m 24 et l'autre 0 m/m 85 de diamètre. Leurs résistivités mesurées avec un pont double étaient respectivement de 22.900 et 23.300 u. e. m. La longueur des échantillons était de 7 c/m. Cette longueur a été adoptée après quelques essais de façon à être assez grande pour que l'influence des soudures n'affecte pas les mesures, mais que, d'autre part, la largeur de la courbe de résonance ne soit pas trop exagérée.

Les deux échantillons ont été étudiés entre les longueurs d'onde 2.500 et 800 c/m. Les écarts entre les fréquences successives, pour lesquelles ont été faites les mesures, sont d'environ $2,5 \cdot 10^8$ périodes par seconde.

INTENSITÉ DU CHAMP MAGNÉTIQUE

L'intensité du champ magnétique pour lequel ont été exécutées les mesures peut être déduite de la valeur de la différence de potentiel aux bornes du condensateur du résonateur. La longueur totale du résonateur étant petite vis-à-vis de la longueur d'onde, nous pouvons admettre que l'intensité instantanée du courant est la même dans toute sa longueur et est égale à $I = C\omega V$. La formule $H = 2 I/a$ donne le champ correspondant à ce courant à la périphérie du fil de rayon a . La plus grande intensité du champ lors de nos expériences ne dépassait pas $0,5 \times 1,41$ gauss.

Les valeurs de la perméabilité étaient déduites d'expériences faites dans des champs d'intensités maxima différentes, l'une pour le courant de résonance et l'autre pour un courant deux fois moindre, mais nous verrons plus loin que, dans des champs aussi faibles, la perméabilité ne change pas avec l'intensité du champ.

RÉSULTATS

Les résultats de nos mesures sont indiqués dans les tableaux I et II. On voit que les racines carrées des valeurs de la perméabilité pour différentes longueurs d'onde s'écartent de la moyenne de moins de 4 %, ce qui nous amène à conclure que dans les limites de nos expériences la perméabilité du fer ne varie pas lorsqu'on change la fréquence du champ magnétisant.

En ce qui concerne les résultats obtenus par M. NIKITIN (1) nous sommes persuadés que l'estimation des erreurs possibles donnée par l'auteur est trop petite et que les variations de perméabilité qu'il observe sont trop faibles pour permettre de conclure à l'existence d'une dispersion magnétique.

Dans les mesures de la perméabilité que M. NIKITIN désigne par μ_k il néglige les amortissements qui peuvent provenir de causes étrangères à la propagation le long du fil. Ces causes d'amortissement pouvaient très bien n'être ni négligeables, ni invariables d'une expérience à une autre et introduire ainsi des erreurs. Nous avons souvent constaté que de faibles changements de position des appareils et des objets métalliques voisins pouvaient produire de gros changements d'amortissement de notre résonateur. M. NIKITIN a mesuré l'intensité du courant dans le résonateur, en couplant à ce dernier un circuit apériodique sur lequel il intercalait un milliampèremètre et un détecteur. De telles mesures supposent qu'il n'y a jamais aucune variation de couplage entre le circuit de l'oscillateur et

(1) NIKITIN, *Loc. cit.*

TABLEAU I

corde de 1,24 mm de diamètre

Numéro du résonateur	Longueur d'onde λ cm	Racine carrée de la perméabilité
I	2480	6,9
I	2013	6,9
I	1707	7,1
II	1503	6,9
II	1334	6,8
I	1208	6,7
I	1087	7,0
I II	991	7,0
II	890	6,9
III	805	6,9

TABLEAU II

corde de 0,85 mm de diamètre

Numéro du résonateur	Longueur d'onde λ cm	Racine carrée de la perméabilité
I	2502	8,5
I	2031	8,6
I	1719	8,5
II	1513	8,5
II	1347	8,4
I II	1215	8,3
I	1090	8,5
I	995	8,1
II	896	8,3
II	830	8,0
III	779	8,2

celui du résonateur d'une part, le circuit du résonateur et le circuit de mesure d'autre part.

Il faut d'ailleurs observer que la méthode de mesure de M. NIKITIN donne comme la notre $\sqrt{\mu}$ et que les erreurs sur la perméabilité sont le double des erreurs expérimentales.

Pour obtenir la perméabilité que M. NIKITIN désigne par μ , il fallait étalonner la capacité du résonateur avec un ondemètre. Or, les courbes de résonance d'un circuit en fer sont si aplaties que les erreurs sur la capacité peuvent être grandes.

Les petites variations de perméabilité qui figurent sur les courbes de M. NIKITIN ne peuvent être supérieures aux erreurs d'expériences et il semble difficile de conclure de ces expériences à l'existence de variations irrégulières de la perméabilité.

Quant aux expériences de M. KARTSCHAGIN (1), qui donnent d'énormes variations de perméabilité du fer que nous n'avons pu observer, nous avons déjà indiqué précédemment qu'à notre perfection de la méthode de mesure de l'amortissement en ligne.

M. LAVILLE (2) a montré en effet qu'une soudure thermo-électrique en pont sur la ligne constitue un réflecteur imparfait. De sorte que, même si dans la partie de la ligne qui est en avant du pont des ondes stationnaires n'ont pas une influence nuisible aux mesures, des ondes transmises au delà du pont jusqu'à l'extrémité de la ligne s'y réfléchissent et peuvent donner lieu à des résonances qui altèrent complètement les mesures.

Récemment, M. SOCOLOW (3) a employé la même méthode

(1) KARTSCHAGIN, *Loc. cit.*

(2) LAVILLE, *Loc. cit.*

(3) SOCOLOW, *Ann. des Phys.*, 83, p. 1136, 1927.

que M. KARTSCHAGIN. Il trouve des variations de perméabilité incomparablement plus faibles.

Or, M. SOCOLOW a éliminé presque complètement la cause d'erreur que nous venons de signaler, en disposant la soudure thermoélectrique non sur un pont, mais sur un circuit apériodique couplé à la ligne.

Les variations de perméabilité qui restent, ne paraissent pas supérieures aux erreurs possibles, car le procédé employé, quoique plus correct, n'est pas parfait. Les variations trouvées pour μ_n sont d'ailleurs beaucoup plus grandes que celles trouvées pour μ_k ; or, il en est de même pour les erreurs possibles; μ_k et μ_n ont enfin des variations plus grandes dans les petites longueurs d'onde, pour lesquelles les erreurs de mesures sont aussi les plus grandes.

VARIATION DE LA PERMÉABILITÉ AVEC L'INTENSITÉ MAXIMUM DU CHAMP

Les auteurs qui ont étudié les spectres magnétiques n'ont pas fait de recherches relatives à la variation de la perméabilité en fonction de l'intensité du champ magnétique dans les limites de fréquence où nous avons opéré. MM. ARKADIEW (1) et KLEMENCIC (2) d'une part, ont expérimenté pour des fréquences beaucoup plus élevées, CARDANI (3) d'autre part pour des fréquences plus basses. Nous avons donc repris des mesures de perméabilité pour une fréquence fixe, mais en employant des oscillations de puissance croissante.

On doit d'abord remarquer que lors de la propagation d'ondes électromagnétiques le long d'un fil de fer, le champ magnétisant maximum diminue très vite de la surface du fil vers l'intérieur et que d'autre part ce champ varie avec le temps. Dans les formules de localisation superficielle du courant que nous avons employées, la perméabilité entre comme une grandeur constante. Si donc cette perméabilité varie avec l'intensité du champ, les expériences ne donnent qu'une valeur moyenne de la perméabilité. Si toutefois cette valeur moyenne change avec l'intensité maximum du champ on est en droit de conclure que la perméabilité dépend de l'intensité du champ.

(1) W. ARKADIEW, Journ. Russ. Phys. Chim. Soc., 44, 165, 1912.

(2) J. KLEMENCIC, Wied. Ann. 50, 456, 1893; 53, 707, 1894.

(3) P. CARDANI, Cim (4) 7, 229, 1898.

La méthode de mesure de la perméabilité décrite précédemment nécessite trois expériences. L'une faite avec l'intensité du courant de résonance correspondant à l'accord du circuit résonateur avec l'oscillateur et deux autres avec une intensité de courant deux fois plus petite. A ces deux courants correspondent des champs magnétiques différents. Afin que chaque valeur de la perméabilité ne résulte que de mesures faites avec des courants de même amplitude, nous avons, pour cette seconde série d'expériences, employé une méthode un peu différente de celle qui nous avait servi à chercher la variation de perméabilité avec la fréquence.

Nous avons comparé les amortissements du résonateur lorsqu'on remplace un fil de cuivre par un fil de fer, en déterminant dans les deux cas la différence de potentiel entre les armatures du condensateur.

Pour le résonateur, entièrement en fil de cuivre, l'amortissement est

$$\alpha = \frac{R}{2 L} = \frac{M I \omega^2}{2 V}$$

et pour le circuit avec le fil de fer

$$\alpha' = \frac{R'}{2 L'} = \frac{M I \omega'^2}{2 V'}$$

V et V' étant les différences de potentiel à la résonance dans les deux cas.

L'induction mutuelle M entre le résonateur et l'oscillateur et l'amplitude I du courant de l'oscillateur restent les mêmes

lors des deux expériences, d'autre part la capacité du résonateur n'a pas varié, il en résulte que

$$L\omega^2 = L'\omega'^2$$

et

$$R' = R \frac{V}{V'}$$

R et R' sont les résistances correspondant à l'amortissement total du résonateur.

Ayant calculé la résistance r du fil de cuivre auquel était substitué le fil de fer, nous pouvons trouver la résistance r' de ce dernier :

$$r' = R' - (R - r) = R \left(\frac{V}{V'} - 1 \right) + r$$

Pour obtenir la résistance r' , nous n'avons plus besoin de faire la courbe de résonance et de chercher $\Delta\lambda'$. Il faut seulement trouver $\Delta\lambda$ pour le circuit entièrement en cuivre et les deux différences de potentiel V et V' . Nous avons pris soin de conserver invariable le couplage du résonateur et de l'oscillateur et de maintenir exactement constante l'amplitude des oscillations de ce dernier.

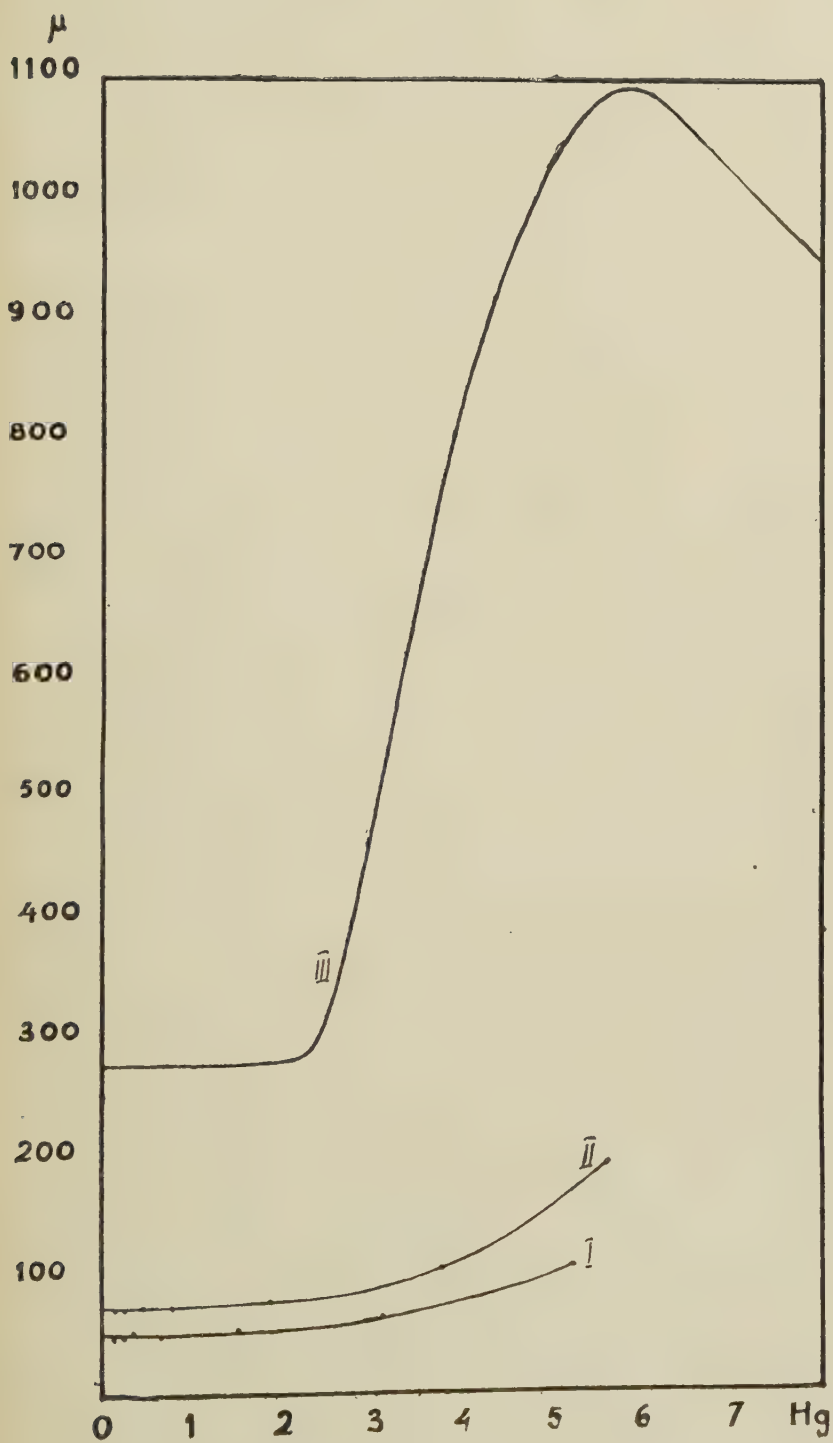
Afin d'éviter une trop grande différence d'amortissement dans les deux cas, ce qui rendrait l'une des déviations beaucoup plus petite que l'autre, nous avons trouvé avantageux d'augmenter la résistance totale du résonateur. Nous l'avons fait en employant dans la construction du résonateur, au lieu du fil de cuivre de 2 m/m 5 de diamètre précédemment utilisé, du fil de laiton de même diamètre. Nous avons fait toutes les mesures de cette série avec un résonateur ayant les dimensions suivantes : les armatures du condensateur sont des lames car-

rées de 9 c/m de côté; la self est un rectangle de dimensions $16,5 \times 21$ c/m.

Pour faire une mesure, on procède comme il suit. On soude sur le résonateur le fil de cuivre et on mesure à la résonance la déviation de l'électromètre et la longueur d'onde correspondante. On substitue au fil de cuivre le fil de fer, et on mesure encore la différence de potentiel à la résonance et la longueur d'onde. Afin de s'assurer que les conditions de couplage de l'oscillateur avec le résonateur n'ont pas changé, on fait de nouveau la mesure avec le fil de cuivre, si la déviation de l'électromètre reprend la grandeur primitive on mesure $\Delta\lambda$ et on en déduit l'amortissement du résonateur.

Pour les mesures exécutées dans les champs magnétiques faibles, nous avons employé le même oscillateur que pour les mesures décrites dans la première partie de ce travail. Nous avons fait varier l'intensité des oscillations dans le résonateur en augmentant le couplage avec l'oscillateur et en augmentant autant que possible la puissance de celui-ci par accroissement du potentiel des plaques de lampes. Pour opérer dans des champs plus intenses, nous avons remplacé l'oscillateur à petites lampes par un autre plus puissant. Nous nous sommes servis de deux lampes E_s en parallèle, dont la tension de plaque était 1.200 volts.

Les erreurs possibles lors des mesures faites avec cet oscillateur peuvent être un peu plus grandes, parce que son fonctionnement est moins régulier. L'irrégularité provient de petites variations de vitesse de la dynamo qui fournit le courant de plaque et de variations du chauffage des filaments. Le courant de chauffage étant plus intense et la résistance des filaments plus petite, il est plus difficile d'obtenir une parfaite constance de l'intensité du courant.



Les expériences ont été faites avec l'échantillon de corde de piano de 1 m/m 24 étudié dans la première partie de ce travail, puis avec un fil de fer doux de 0 m/m 96 de diamètre, dont la résistivité était de 12.700 u. e. m. Nous avons mesuré la perméabilité à 1.288 c/m de longueur d'onde pour des champs variant entre 0,14 et 5,24 Gauss pour le premier fil et à 1.291 c/m longueur d'onde de 0,17 à 5,64 Gauss pour le deuxième.

Les résultats de nos mesures sont donnés dans le tableau III. Nous avons construit les courbes correspondant à la variation de la perméabilité en fonction de champ magnétique efficace à la surface du fil. Les courbes I et II représentent respectivement la perméabilité du fil de 1 m/m 24 de diamètre et du fil de 0 m/m 96. La courbe III représente la perméabilité du fil de fer doux de 0 m/m 96 pour des champs d'intensité constante.

Les courbes I et II montrent que la perméabilité conserve une valeur constante pour les petites amplitudes du champ, puis augmente avec cette amplitude. Si nous comparons les courbes II et III qui représentent la perméabilité pour le même fil dans le champ alternatif et le champ constant, nous voyons que la perméabilité moyenne obtenue dans le champ alternatif est environ quatre fois plus petite. On peut expliquer ce fait par le trainage magnétique, l'orientation magnétique ne pouvant suivre les très rapides changements d'intensité du champ.

La perméabilité commence à croître nettement pour des intensités efficaces du champ qui sont de l'ordre de grandeur de celles pour lesquelles en champ constant la courbe de perméabilité remonte, mais il n'y a pas de coude aussi accentué. La valeur de la perméabilité atteinte dans les plus grands champs (5,64 Gauss) pour lesquels nous avons pu expérimenter est

environ trois fois plus grande que dans les champs très faibles. Il serait intéressant de connaître la perméabilité en haute fréquence au delà des amplitudes du champ pour lesquelles, à champ constant, la saturation magnétique serait franchement dépassée. Malheureusement, pour des courants trop intenses dans le circuit du résonateur, le fil de fer s'échauffe beaucoup trop. C'est cet échauffement qui nous a obligé à renoncer à accroître encore l'amplitude des oscillations.

La courbe I, qui représente la perméabilité pour l'autre fil, montre une plus petite augmentation de la perméabilité; elle dépasse à peine deux fois la valeur initiale. Ce second fil de fer était plus dur que le premier.

TABLEAU III

Corde de 1 mm 24 de diamètre

Longueur d'onde λ cm	Déviat. mx c. avec fil de cuivre	Déviat. mx c. avec le fil de fer	Dif. d. P. mx c. avec le fil de cuivre Volts	Dif. d. P. mx c. avec le fil de fer Volts	L'amortis. du circuit avec le fil de cuivre	La résistance mesurée du fil de fer	La racine carrée de la perméabilité $\sqrt{\mu}$	L'intensité du champ H
1288	325	65,5	7,4	3,8	5,552 10 ⁸	5,479 10 ⁸	6,6	0,14
1288	288	70	10,9	5,5	5,552	5,675	6,9	0,20
1288	301	76	22,1	10,0	5,552	5,823	7,1	0,37
1288	293	78	35,1	17,7	5,552	5,646	6,8	0,65
1278	300	62	88,3	41,3	4,997	6,141	7,4	1,50
1278	328	66	195,3	86,4	4,918	6,398	8,0	3,15
1288	287	45	374,5	141,5	4,918	8,321	10,1	5,24
Fil de fer de 0 mm 96 de diamètre								
1291	317	54	7,4	3,5	5,773 10 ⁸	6,762 10 ⁸	8,5	0,17
1291	300	61,5	11,1	5,2	5,655	6,660	8,4	0,25
1291	297	65	20,5	9,5	5,694	6,760	8,5	0,45
1291	281	63	34,4	15,9	5,536	6,715	8,4	0,76
1281	305	53	89,0	38,3	5,101	7,053	8,8	1,80
1291	344	54,5	200,4	78,0	5,069	8,045	10,1	3,70
1291	280	29	370,0	119,0	5,050	10,941	13,7	5,64

INFLUENCE D'UNE AIMANTATION LONGITUDINALE CONSTANTE DU FIL DE FER SUR LES PHÉNOMÈNES DE PROPAGATION DES ONDES LE LONG DU FIL

Il nous a paru intéressant de chercher si une aimantation longitudinale du fer a une influence sur la propagation des ondes électromagnétiques dans ce fil.

Après quelques essais, nous nous sommes arrêté au dispositif suivant. Le circuit résonateur est un rectangle de 25×15 c/m. L'un des côtés de 15 c/m est coupé en son milieu par le condensateur constitué par deux plaques carrées de 10 c/m 5 de côté; au milieu de l'autre est intercalée une soudeure thermoélectrique. Sur les deux autres côtés sont intercalés deux morceaux de 5 c/m de longueur du fil de fer doux qui nous a déjà servi. Les deux fils de fer étaient placés chacun dans l'axe d'une bobine de 10 c/m 5 de longueur et 4 c/m 5 de diamètre.

Pour effectuer une expérience, nous accordons l'oscillateur sur la période du résonateur sans faire passer le courant magnétisant dans les bobines. Nous fermons alors ce courant. Si le courant magnétisant est assez intense, nous observons une augmentation de déviation de l'électromètre qui mesure la différence de potentiel entre les armatures du condensateur et du galvanomètre, qui mesure l'intensité du courant dans le résonateur.

De l'accroissement de la différence de potentiel et de l'accroissement du courant, on déduit une décroissance d'amortissement et par suite une diminution de la perméabilité.

Avant de faire les mesures, nous avons fait des essais avec le résonateur ne contenant que des fils de cuivre pour vérifier qu'il ne se produisait, dans ce cas, aucun effet dû au passage du courant magnétisant dans les bobines.

Ces dernières expériences ont été faites pour la longueur d'onde de 2.440 c/m. Nous n'avons observé aucune action d'un champ constant tant que l'intensité du champ périphérique à haute fréquence est petite. Un effet du champ longitudinal ne commence à être observable que pour une intensité du champ supérieure à 150 Gauss et pour des champs superficiels dépassant 5 Gauss. Pour un champ alternatif d'amplitude 5,7 Gauss il est très net, la $\sqrt{\mu}$ devient 13,30 au lieu de 13,75; la perméabilité passe donc de 189 à 177.

RÉSUMÉ

En traçant les courbes de résonance d'un résonateur Blondlot sur le circuit duquel était intercalé soit un fil de fer, soit un fil de cuivre de même longueur et de même diamètre, nous avons déterminé le supplément d'amortissement dû au fil de fer et la résistance en haute fréquence de ce fil. En nous servant de la formule de STEFAN, relative à l'effet pelliculaire, nous en avons déduit la perméabilité. Nous avons mesuré la perméabilité de deux échantillons de fil de fer pour les longueurs d'onde comprises entre 800 et 2.500 c/m et dans des champs magnétiques d'amplitude plus petite que 0,5 Gauss.

Nous avons trouvé que la perméabilité ne dépend pas de la longueur d'onde, les écarts constatés étant toujours restés plus petits que l'erreur expérimentale possible.

Nous avons ensuite déterminé la perméabilité de deux échantillons de fer dans des champs alternatifs d'intensité variant entre 0,14 et 5,5 Gauss. Nous avons constaté que la perméabilité moyenne à la fréquence $2,3 \cdot 10^7$ croît comme la perméabilité dans un champ constant, l'augmentation est cependant beaucoup moins rapide.

Enfin, nous avons cherché si une aimantation longitudinale constante modifie les conditions de propagation des ondes électromagnétiques le long d'un fil. Nous n'avons observé aucune action du champ constant tant que l'intensité du champ alter-

natif périphérique est petite. Mais lorsque l'intensité de ce dernier dépasse 5 Gauss et que celle du champ constant est supérieure à 150 Gauss, nous avons constaté une décroissance de perméabilité en haute fréquence provoquée par l'aimantation longitudinale du fil.

Deuxième Thèse

Proposition donnée par la Faculté

L'EFFET ZEEMAN NORMAL

VU ET APPROUVÉ :

Nancy, le 28 Octobre 1927.

Le Doyen de la Faculté des Sciences,

Signé : P. PETIT.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER :

Nancy, le 29 Octobre 1927,

Le Recteur de l'Académie,

Signé : Ch. ADAM,

Membre de l'Institut,

